



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁶ :

G05D 1/03

A1

(11) Numéro de publication internationale:

WO 99/22281

(43) Date de publication internationale:

6 mai 1999 (06.05.99)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/02270

(22) Date de dépôt international: 23 octobre 1998 (23.10.98)

(30) Données relatives à la priorité:

97/13375

24 octobre 1997 (24.10.97)

FR

(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): COMMIS-SARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 31-33, rue de la Fédération, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): ARNOUL, Patrick [FR/FR]; 26, rue du Champrier des Fourneaux, F-78720 Dampierre en Yvelines (FR). GUERIN, Jean-Pierre [FR/FR]; 10, allée du Bois de la Cyprenne, F-91400 Orsay (FR). LETELLIER, Laurent [FR/FR]; 7, rue Auguste Ernoul, F-92260 Fontenay aux Roses (FR). VIALA, Marc [FR/FR]; 6, clos Alphonse Daudet, F-78280 Guyancourt (FR).

(74) Mandataire: BREVATOME; 25, rue de Ponthieu, F-75008 Paris (FR).

(81) Etats désignés: CA, JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Publiée

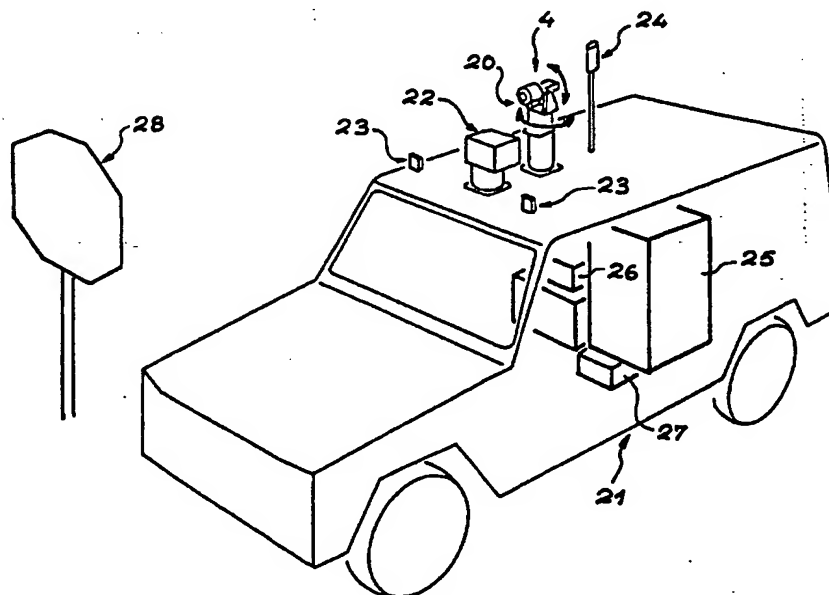
Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: METHOD FOR CALIBRATING THE INITIAL POSITION AND THE ORIENTATION OF ONE OR SEVERAL MOBILE CAMERAS

(54) Titre: PROCEDE D'ETALONNAGE DE LA POSITION ET DE L'ORIENTATION D'ORIGINE D'UNE OU PLUSIEURS CAMERAS MOBILES

(57) Abstract

The invention concerns a method for calibrating a camera (4, 22) arranged on a mobile support (21), wherein the camera takes a test object image formed of at least three marks appearing in the camera field, and the analysis of said image gives the initial position and orientation of the camera relative to that of the test object image, known in an application. The support (21) can then be displaced towards an object (28) whereof the camera takes images. Since the support displacements are accurately measured, the analysis of the object images gives the accurate position and orientation of the object relative to the camera and relative to the test object. One application consists in the survey of road signs (28) for constituting databases for managing a network or for an on-board navigation system.



(57) Abrégé

Procédé d'étalonnage d'une caméra (4, 22) disposée sur un support mobile (21). La caméra prend une image d'une mire formée d'au moins trois marques apparaissant dans le champ de la caméra, et l'analyse de l'image donne la position et l'orientation initiales de la caméra par rapport à celle de la mire, qui sont connues dans une application. Le support (21) peut alors être déplacé vers un objet (28) dont la caméra prend des images. Comme les déplacements du support sont mesurés avec précision, l'analyse des images de l'objet donne la position et l'orientation précises de l'objet par rapport à la caméra et par rapport à la mire. Une application est le recensement de panneaux routiers (28) pour constituer des bases de données de gestion du réseau ou pour système de navigation embarqué.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Bésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

PROCEDE D'ETALONNAGE DE LA POSITION ET DE L'ORIENTATION
D'ORIGINE D'UNE OU PLUSIEURS CAMERAS MOBILES

5

DESCRIPTION

L'invention a trait à un procédé d'étalonnage de la position et de l'orientation d'origine d'une ou
10 plusieurs caméras mobiles et à son application à la mesure de position tridimensionnelle d'objets fixes.

Elle peut trouver diverses applications de calcul automatique de position d'objets en prenant au moins une image de ces objets par la caméra et en calculant
15 leur position d'après leur trace sur les images prises et la position de la caméra.

Le brevet français 96 06749 non encore publié décrit une telle application, et le système matériel correspondant, pour laquelle l'invention serait utile :
20 il s'agit du recensement automatique de panneaux de signalisation le long d'une route : une ou plusieurs caméras sont fixées sur le toit du véhicule, qui peut encore être muni d'une centrale de navigation inertielle et d'un appareil à antenne de localisation
25 par rapport à une constellation de satellites en orbite (par exemple système GPS) ; le second de ces deux instruments donne périodiquement (quelques secondes) la position du véhicule à la surface de la Terre et son cap avec une très grande précision, et le premier est
30 utilisé pour mettre à jour les informations de position et d'orientation entre les instants de localisation. La caméra prend une série d'images de chaque panneau que croise le véhicule, et un système de traitement

d'images adjoint à la caméra, qui comprend des moyens de poursuite à filtrage de Kalman d'un point caractéristique de chaque objet sur chacune des images, fournit des coordonnées représentatives de la direction et de l'éloignement de l'objet par rapport à la caméra à chacune des images par un algorithme de prédiction, de vérification et d'estimation de la trace du point caractéristique de l'objet sur chacune des images. Il existe aussi des algorithmes plus simples, fondés sur une triangulation à partir des positions de points caractéristiques de l'objet sur deux images ou plus. La position de l'objet peut donc être déterminée en utilisant ces renseignements et la connaissance qu'on a de la position et de l'orientation de la caméra et du véhicule. La position et l'orientation du véhicule sont connues à tout instant dans un repère fixe (lié à la Terre) grâce au système de localisation par satellites et à la centrale inertielle, mais il reste à étalonner la position et surtout l'orientation de la caméra par rapport au véhicule.

On a proposé deux moyens de maîtriser les incertitudes de positionnement de la caméra sur le support mobile qui la transporte : assembler la caméra au support par un dispositif mécanique qui offre une grande précision, ou munir le boîtier de la caméra de repères, le fixer au support par un mécanisme permettant d'ajuster sa position, et effectuer un ajustement de position entre les repères de la caméra et des repères fixes pour aligner le viseur de la caméra avec une direction déterminée sur le support. La première des possibilités de cette alternative nécessite des moyens mécaniques coûteux qui ne permettent pas de régler la position de la caméra sur

le support ni de procéder à aucun réglage de position de quelque nature qu'il soit, et le remplacement de la caméra devient difficile ou impossible puisque le système mécanique est adapté à chaque modèle de caméra.

5 L'autre possibilité de l'alternative implique que la caméra est étalonnée en laboratoire pour que ses repères soient tracés correctement d'après la direction du viseur, et interdit de changer les réglages de position de la caméra ultérieurement sous peine de
10 devoir recommencer la procédure d'étalonnage pour obtenir de nouveaux repères.

L'intérêt de l'invention est essentiellement d'éviter ce besoin de placer la caméra sur le support mobile avec une grande précision pour mesurer
15 convenablement la position et surtout l'orientation de l'objet visé. Elle permet aussi d'utiliser aisément plusieurs caméras sur le même support mobile.

Plusieurs avantages découlent de cette caractéristique. Il est tout d'abord inutile de régler
20 finement la position à laquelle la caméra est fixée au support, et il est permis de réorienter sans difficulté la caméra pour une nouvelle application du procédé si on le souhaite. Il est aussi possible de monter sans inconvénient la caméra sur une tourelle mobile,
25 notamment tournante, montée sur le support, malgré l'incertitude supplémentaire de position et d'orientation qui est alors introduite ; il faudra simplement mesurer avec précision les déplacements de la tourelle, sans devoir connaître avec précision sa
30 position et son orientation d'origine ; celles-ci seront déterminées implicitement par le procédé de l'invention. Une telle tourelle pourrait par exemple être employée dans l'application de recensement de

panneaux pour faciliter la prise d'images successives dans des lieux tels que des ronds-points à sens giratoire où la direction du véhicule et le champ de visée de la caméra se déplacent très vite.

5 La mesure caractéristique de l'invention consiste à prendre, pour chaque caméra, une image préliminaire d'une mire dont la position est connue dans l'environnement ; on déplacera le véhicule à cet effet pour chaque caméra : l'analyse de l'image de la mire
10 fournit la position et l'orientation de la caméra et de son support par rapport à la mire et donc dans un repère fixe. Il suffit ensuite d'aller prendre des images successives de l'objet qui sont analysées à leur tour par un des procédés connus pour connaître la
15 position de l'objet dans le repère fixe, en mesurant les déplacements du support jusqu'à chacun des lieux de prise d'image et en déduisant la position de l'objet à l'aide de sa trace sur chacune des images.

 Rappelons que la position et l'orientation du
20 support mobile sont connues à chaque instant y compris lors des prises d'image de la mire.

 Dans le cas où l'objet à localiser est porteur de plusieurs marques de repérage de positions relatives bien identifiées, on pourra mettre en oeuvre un procédé
25 de localisation à partir d'une seule image de l'objet.

 Pour résumer, l'invention est relative sous sa forme la plus générale à un procédé d'étalonnage de la position et de l'orientation d'origine d'une ou plusieurs caméras, disposées sur un support mobile dans
30 un environnement, caractérisé en ce qu'il consiste à munir l'environnement d'une mire à une position et une orientation connues ; à prendre une image de la mire par chaque caméra et à analyser l'image de la mire par

un système de traitement en relevant des positions de traces de points caractéristiques de la mire sur l'image et en déduisant des directions et des éloignements entre les points caractéristiques et la

5 caméra, puis une position et une orientation de la caméra par rapport à la mire ; ou encore, dans une conception à peine différente, elle concerne un procédé d'étalonnage, par rapport à une seconde caméra de la position et de l'orientation d'origine d'une première

10 caméra disposée sur un support mobile dans un environnement, caractérisé en ce qu'il consiste à munir la première caméra d'une caméra d'étalonnage et la seconde caméra d'une mire à une position et une orientation connues ; à prendre une image de la mire

15 par la caméra d'étalonnage ; et à analyser l'image de la mire par un système de traitement en relevant des positions de traces de marques caractéristiques de la mire sur l'image et en déduisant des directions et des éloignements entre les marques caractéristiques et la

20 caméra d'étalonnage, puis une position et une orientation de la caméra d'étalonnage par rapport à la mire, puis de la première caméra par rapport à la seconde caméra.

25 Avantageusement, la mire comprend au moins trois marques apparaissant dans le champ de la caméra, elle présente avantageusement un plus grand nombre de marques non coplanaires.

L'invention est encore relative à un procédé de

30 mesure de position tridimensionnelle d'objets fixes au moyen d'une ou plusieurs caméras montées sur un support mobile, caractérisé en ce qu'il consiste, après avoir appliqué le procédé d'étalonnage, à faire subir un

déplacement au support jusqu'à l'objet tout en mesurant ce déplacement ; à prendre des images de l'objet par la ou les caméras, entre chacune desquelles le support est de nouveau déplacé ; à analyser les images de l'objet
5 par le système de traitement pour en déduire une direction et un éloignement entre l'objet et la ou les caméras ; à enfin calculer la position de l'objet en utilisant ladite direction et ledit éloignement entre l'objet et la caméra et les déplacements du support.

10 L'invention sera maintenant décrite en détail à l'aide des figures suivantes :

- la figure 1 est une vue schématique et générale des éléments qui interviennent dans la localisation de la position et de l'orientation initiales de la caméra à l'aide d'une mire ;
15
- la figure 2 illustre la technique de recherche des traces des marques de la mire sur l'image prise par la caméra ;
- les figures 3 et 4 illustrent une modélisation d'une trace de marque sur l'image ;
20
- la figure 5 est une représentation géométrique d'explication du procédé de localisation et d'orientation de la caméra ;
- la figure 6 illustre un véhicule sur lequel une caméra de localisation 22 ou 4 est implantée ;
25
- la figure 7 illustre le procédé de localisation de la caméra ou des caméras par la mire dans cette application ;
- la figure 8 illustre une autre application de l'invention ;
30
- et la figure 9 illustre une autre façon de mettre en oeuvre le procédé.

Rappelons tout d'abord que l'allure d'une image d'un objet visé par la caméra dépend de onze paramètres : les six paramètres extrinsèques de la caméra, c'est-à-dire ses coordonnées d'orientation et de position par rapport à l'objet et au moins cinq paramètres intrinsèques, à savoir deux coordonnées qui définissent la position du centre optique sur le capteur de la caméra, deux valeurs qui tiennent compte de la distance focale de l'objectif et au moins un facteur de distorsion radiale. Ces paramètres intrinsèques peuvent être déterminés par des étalonnages connus qui sont effectués dès que les éléments de la caméra ont été assemblés ; ils restent alors invariables. La localisation de la caméra, objet de l'invention, est en réalité liée à la détermination de ses paramètres extrinsèques. Elle doit être faite quand la caméra est montée sur son support, à chaque fois qu'elle est démontée et remontée ou que sa position est ajustée sur le support, et en pratique de temps à autre. Une mire fixe est employée pour cela. On détaille ci-après la méthode de calcul des paramètres extrinsèques.

La localisation monoculaire mise en oeuvre pour obtenir les paramètres extrinsèques d'une caméra dans ce procédé repose sur l'exploitation d'une mire de dimensions connues et d'une unique image prise par la caméra représentant cette mire. Certaines méthodes de résolution connues sont analytiques et imposent de résoudre un système d'équations non linéaires pour déterminer les positions des repères ou des marques de la mire à partir de leur image. Elles sont rapides mais sensibles aux bruits de mesure et exigent un plus grand nombre de marques d'identification.

BEST AVAILABLE COPY

autre catégorie est constituée par les résolutions itératives, dans lesquelles la position des repères est estimée puis corrigée pour minimiser un critère d'erreur entre les images enregistrées par la caméra et les images qui seraient obtenues avec la position estimée des repères. Ces résolutions sont précises, peu sensibles aux bruits de mesure et permettent d'exploiter un nombre variable de repères, mais elles présentent l'inconvénient que la convergence peut être assez lente et que la première estimation doit être proche de la solution, faute de quoi la convergence n'est plus assurée.

Un dispositif inverse de localisation d'un objet porteur de marques de repérage est décrit dans l'article « Model-based object pose in 25 lines of code » par DeMenthon et Davis, paru dans International Journal of Computer Vision, vol.15, p.123-141, 1995, et consiste à obtenir une première estimation analytique de la position des repères par un algorithme approximatif mais simple à utiliser, puis à corriger cette estimation initiale de position par un processus itératif dans lequel les estimations de position des repères sont projetées sur l'image prise par la caméra avant d'appliquer l'algorithme approximatif à ces projections pour donner de nouvelles estimations de position des repères plus précises que les précédentes.

On propose ici un procédé de localisation qui appartient à la famille des méthodes optiques monoculaires et comprend l'utilisation d'un procédé de résolution itératif en utilisant un premier algorithme estimateur de position très proche de cet article ; ce procédé se distingue du précédent en particulier par un meilleur algorithme d'estimation finale, moins sensible

aux bruits de mesure, par une étape particulière d'amélioration de la détermination de la position des repères sur l'image, ainsi que par une nature des repères qui permet de satisfaire à l'exigence de
5 précision dans la détermination finale de la position de l'image.

L'algorithme final d'estimation tridimensionnelle est réalisé à l'aide d'un calcul de moindres carrés non linéaires avec injection des facteurs de qualité issus
10 de l'étape d'amélioration de la position bidimensionnelle des traces des marques dans l'image. Ce calcul pourrait être avantageusement remplacé par un filtre de Kalman dont la stabilité numérique est assurée avec des opérations en virgule flottante à
15 simple précision (32 bits). Le calcul des moindres carrés non linéaires impose des opérations à double précision (64 bits) qui ne sont pas disponible sur tous les matériels informatiques, notamment les systèmes embarqués à DSP (Processeur de traitement de signal
20 numérique).

On notera que la demande de brevet français 97 02426 non encore publiée décrit un procédé analogue à celui-ci pour déterminer la position et l'orientation d'objets mobiles, porteurs de marques de repérage, dans
25 le champ de vision d'une caméra fixe et de position connue.

La figure 1 représente une mire 1 qui porte des marques 3 sur deux faces planes formant un dièdre et tournées vers une caméra 4 ; les marques 3 peuvent
30 consister en des motifs de petite surface tels que des points de couleur ou qui réfléchissent la lumière environnante. Ces motifs sont avantageusement d'un nombre supérieur à trois et non coplanaires, mais une

étape supplémentaire d'initialisation de la localisation tridimensionnelle par des valeurs a priori permet de n'avoir recours qu'à trois marques de repérage en levant les ambiguïtés pouvant apparaître.

5 En effet, dans les applications de localisation tridimensionnelle de grande précision pouvant être abordée dans le cadre de ce brevet, on connaît bien souvent de bonnes valeurs approchées du résultat final qui permettent l'initialisation du processus. Les
10 motifs sont d'ailleurs avantageusement plus nombreux encore si on veut obtenir une meilleure précision. Il n'est pas indispensable que les marques 3 soient à une orientation définie et immuable par rapport à la caméra 4, mais elles peuvent au contraire être présentées
15 obliquement à elle sans que la précision de détection soit compromise, ce qui n'impose pas de placer la caméra 4 avec trop de contraintes.

Ces marques passives peuvent être préférées aux marques lumineuses, généralement employées dans la
20 technique et qui sont plus facilement visibles mais dont les contours sont moins nets, ce qui interdit de bien profiter de l'algorithme d'amélioration d'estimation de position décrit plus loin.

La première étape du procédé de localisation
25 consiste à chercher la trace des marques 3 sur l'image prise par la caméra 4. Il s'agit d'une étape d'identification d'imagettes ou portions d'image contenant chacune la trace d'une des marques 3. La figure 2 montre qu'on procède par une corrélation de
30 l'image 10 de la caméra 4 avec une image 9 d'étalonnage prise précédemment. Si on a constaté que la trace d'une des marques 3 était incluse dans le périmètre d'une portion ou imagette de référence 11 de l'image

d'étalonnage 9, le programme de localisation crée successivement des imagettes 12 de même périmètre à des coordonnées x et y sur l'image 10 et calcule la corrélation C de l'intensité lumineuse des points des
5 imagettes 11 et 12 selon la formule suivante (1) :

$$C(x, y) = \frac{\text{Cov}(M_o, M_k)}{\sigma(M_o)\sigma(M_k)} = \frac{E(M_o M_k) - E(M_o)E(M_k)}{\sqrt{E(M_o^2) - E(M_o)^2} \sqrt{E(M_k^2) - E(M_k)^2}} \quad (1)$$

où cov est la covariance, E est l'espérance
10 mathématique et σ l'écart-type de l'intensité lumineuse. M_o et M_k représentant les contenus ou motifs lumineux des imagettes 11 et 12. Ce calcul est repris pour toutes les positions de l'imagette 12 en faisant varier x et y. Une table de corrélation de l'image 10
15 est alors obtenue, dont les points sont affectés d'un nombre compris entre -1 et +1, où -1 représente une anti-corrélation entre les motifs M_o et M_k pour les coordonnées x et y considérées, 0 une absence de corrélation et +1 une corrélation parfaite. Cette
20 dernière situation apparaît quand l'imagette 12 est identique à l'imagette 11 de référence : la corrélation sert précisément à repérer les endroits de meilleure corrélation avec l'imagette 11 sur l'image 10 au moyen d'une lecture de la table de corrélation ; il est alors
25 possible d'isoler un certain nombre d'imagettes 12 sur l'image 10, qui contiennent chacune la trace 13 d'une des marques 3 de l'objet visé. L'imagette 11 de référence peut être unique pour plusieurs imagettes 12 si les marques 3 sont identiques ; sinon, une imagette
30 12 est associée à une imagette 11 de référence respective.

Ce procédé présente le grand avantage de permettre de retrouver les traces des marques 3 même quand des variations de luminosité existent entre les marques 3 ou entre l'image 10 et l'image d'étalonnage 9.

5 Certaines précautions doivent cependant être prises pour rendre le procédé plus intéressant et plus sûr. Il faut en effet admettre que ces calculs de corrélation sont longs et coûteux. C'est pourquoi ils sont entrepris en réalité sur des images réduites,
10 présentant simplement une sélection des points (pixels) de l'image originale. Du tableau de corrélation réduit ainsi obtenu on sélectionne les points correspondant à des imageries candidates en plus grand nombre que les imageries 12 recherchées. Les imageries candidates sont
15 l'objet d'une seconde sélection en réalisant une corrélation de vérification sur des imageries candidates complètes, c'est-à-dire dans lesquelles on a réintégré tous les points écartés en construisant l'image réduite. Les imageries 12 finalement retenues
20 sont celles qui possèdent la meilleure corrélation de vérification avec l'imagerie 11 de référence. Ces précautions permettent de se prémunir contre les risques d'erreur attachés aux conditions concrètes d'exploitation, où des lumières parasites ou d'autres
25 artefacts peuvent induire le système en erreur et le pousser à identifier des traces 13 à ces endroits plutôt qu'aux véritables. De plus, les corrélations de vérification peuvent être calculées plusieurs fois pour chacune des imageries 12, en les déplaçant à chaque
30 fois dans le périmètre d'une fenêtre 14 de dimensions prédéterminées construite autour de chacune des imageries candidates. C'est bien sûr la position de meilleure corrélation dans la fenêtre 14 qu'on retient.

pour définir l'imagette 12. Le risque de tronquer la trace 13 en la cadrant mal dans l'imagette 12 est alors très réduit.

Un élément important, bien que facultatif, de l'invention consiste à estimer avec une grande précision la position des traces 13 des marques 3 sur les imagettes 12 : le procédé qui est proposé permet de faire une localisation sous-pixellique de cette position, c'est-à-dire avec une précision meilleure que la largeur d'un point de l'image. Il est alors possible d'obtenir des résultats de localisation satisfaisants, même avec une caméra 4 à faible résolution, moins coûteuse et dont l'exploitation des images est plus rapide. Il serait possible de se fonder sur le calcul de corrélation entre l'imagette 12 de la trace 13 et une image primitive telle que l'imagette 11 pour, par exemple, calculer la position du centre de la trace 13 sur l'imagette 12. Mais ce genre de méthode devient inopérant quand la mire 1 est vue sous une autre incidence que pendant la prise d'image d'étalonnage, qui les déforme sur l'imagette 12. C'est pourquoi il est proposé de modéliser les traces 13 sur l'imagette 12 par une formule telle que la suivante (2):

$$I(x, y) = a + bx + cy + d \exp \left(\frac{1}{2(1 - r_{xy}^2)} \left(\frac{(x - m_x)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y - m_y)^2}{\sigma_y^2} - \frac{(x - m_x)(y - m_y)}{\sigma_x \sigma_y} \right) \right) \quad (2)$$

où I est l'intensité lumineuse sur l'imagette 12, a, b, c et d sont des constantes dont les trois premières servent à estimer l'intensité lumineuse du fond de l'imagette 12, la dernière l'intensité lumineuse globale de la trace 13 ; m_x , m_y expriment les

coordonnées du centre de la trace 13, σ_x et σ_y ses largeurs dans des axes principaux qui peuvent être obliques (d'angle θ) par rapport aux axes principaux de l'imagette 12, et r_{xy} exprime l'étalement de la trace.

5 D'un point de vue mathématique, a , b et c sont des coefficients d'un plan et d la hauteur d'une fonction gaussienne de section bidimensionnelle elliptique dont m_x et m_y sont les moyennes, σ_x et σ_y les écarts-types et r_{xy} la corrélation. Les figures 3 et 4 en donnent une
10 représentation graphique.

On voit que ce modèle tient compte du rétrécissement de la trace 13 sur l'imagette 12 consécutif à l'éloignement de la marque 3 et de sa déformation consécutive à l'obliquité de la mire 1. Si
15 on appelle $\hat{I}(x,y)$ l'intensité lumineuse mesurée sur les points de l'imagette 12, le travail consiste à minimiser la fonction C_{\min} de la formule (3) :

$$C_{\min}(a, b, c, d, m_x, m_y, \sigma_x, \sigma_y, r_{xy}) = \sum_{x,y \in I} (I(x, y) - \hat{I}(x, y))^2 \quad (3)$$

20 en faisant varier les variables de cette fonction, c'est-à-dire les paramètres de modélisation, pour que les intensités lumineuses données par celle-ci coïncident au mieux avec les valeurs mesurées. Une
25 modélisation précise de la trace 13 est alors obtenue : on peut en particulier en déduire le centre par les valeurs de m_x et m_y et par conséquent, avec un étalonnage préliminaire connu de la caméra 4, la direction de la marque 3 associée à l'imagette 12
30 considérée par rapport à la caméra 4.

Le modèle donné précédemment convient pour des marques 3 circulaires, mais il est facile de le transposer à des marques différentes de forme simple.

Il reste maintenant à déterminer la position de la
5 caméra 4 par rapport aux marques 3. La figure 5 permettra de comprendre les explications qui suivent.

En supposant que les distorsions géométriques causées par l'objectif de la caméra 4 aient été corrigées notamment par le facteur de distorsion
10 radiale des paramètres intrinsèques de la caméra, ce qui peut aussi être fait par un étalonnage préliminaire de la caméra 4 par photogrammétrie, le point P au centre d'une marque 3 se trouve sur une ligne L de projection passant par le centre Pp de la trace
15 correspondante 13 sur l'image 10 et par un foyer F. On appelle i, j et k les axes d'un repère de caméra dont le foyer F est l'origine, l'axe k étant perpendiculaire à l'image 10. Tous les points de l'espace perçus par la caméra 4 se projettent sur l'image 10 par une ligne
20 passant par le foyer F : cette projection convergente est appelée « en perspective ». La position des points Pp, centres des traces 13, est donc prévisible quand la mire 1 occupe une position donnée dans le champ de la caméra 4 ; le problème consiste à retrouver les
25 relations de rétro-projection qui font passer des points Pp aux points P. Mais on constate que les relations rigoureuses de rétro-projection, obtenues en inversant les relations de projection permettant de calculer les coordonnées des points Pp à partir des
30 coordonnées des points P, ne peuvent pas être exploitées facilement car elles ne consistent pas en un système d'équations linéaires.

C'est pourquoi on préconise de recourir à une première évaluation de la position des points P ; cette première évaluation est approximative mais elle peut être obtenue facilement et permet ensuite d'appliquer un procédé de convergence vers la solution réelle. Le principe retenu consiste à supposer que les points P se projettent sur l'image 10 en deux étapes, d'abord par une projection orthogonale sur un plan intermédiaire Π parallèle au plan de l'image 10, en un point P', puis par une projection en perspective de ce point P' vers le foyer F, qui donne un point Pp' sur l'image 10. Ce point de projection fictive est à côté du point Pp de projection réelle. La première évaluation de la position des points P consiste à appliquer une rétro-projection, inverse de la projection fictive qu'on vient de décrire, aux points Pp de l'image 10 : les points ainsi obtenus sont notés oP .

Ce principe étant exposé, il faut détailler plus précisément les calculs entrepris.

La situation de la mire 1 peut être représentée par une rotation R et une translation t conformes aux matrices suivantes (4), qui font passer du repère de la vidéo-caméra 4, défini plus haut, à un repère fixe, lié à la mire 1 :

$$t = (t_x, t_y, t_z)^T$$

(4)

$$R = \begin{pmatrix} i_x & i_y & i_z \\ j_x & j_y & j_z \\ k_x & k_y & k_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i^T \\ j^T \\ k^T \end{pmatrix}$$

où t_x , t_y et t_z sont des coordonnées de translation exprimées dans les axes i, j et k du repère de la

caméra 4 et i , j et k sont les vecteurs directeurs du repère de la caméra 4 exprimés dans le repère de la mire 1.

Le plan Π est choisi tel que l'origine O du repère de la mire 1 lui appartienne, ce qui implique que le foyer F est distant du plan π de la grandeur t_z .

Si on appelle $^{\circ}x$, $^{\circ}y$ et $^{\circ}z$ les coordonnées du point P dans le repère de la mire 1 et \bar{u} et \bar{v} les coordonnées du point P' sur l'image 10, on peut obtenir les relations suivantes (5) :

$$\frac{i \cdot (^{\circ}x, ^{\circ}y, ^{\circ}z)^T + t_x}{t_z} = \bar{u} \quad (5)$$

$$\frac{j \cdot (^{\circ}x, ^{\circ}y, ^{\circ}z)^T + t_y}{t_z} = \bar{v}$$

15

Ces équations peuvent être généralisées à un nombre n de points P de la mire 1 de la manière suivante (6) :

20

$$A \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{pmatrix} = \bar{u}$$

(6)

$$A \begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{pmatrix} = \bar{v}$$

où les notations I , J , A , \bar{u} , \bar{v} sont données par les équations que voici (7) :

$$\begin{cases} I_1 = i_x / t_z \\ I_2 = i_y / t_z \\ I_3 = i_z / t_z \\ I_4 = t_x / t_z \\ J_1 = j_x / t_z \\ J_2 = j_y / t_z \\ J_3 = j_z / t_z \\ J_4 = t_y / t_z \end{cases}$$

5

$$A = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & z_n & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\bar{u} = \begin{pmatrix} \bar{u}_1 \\ \vdots \\ \bar{u}_n \end{pmatrix}$$

$$\bar{v} = \begin{pmatrix} \bar{v}_1 \\ \vdots \\ \bar{v}_n \end{pmatrix}$$

10 Il s'agit alors de calculer les quantités I_n et J_n , ce qui est effectué par les formules suivantes (8) :

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{pmatrix} = B\bar{u}'$$

(8)

$$\begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{pmatrix} = B\bar{v}'$$

15

où la matrice B est la pseudo-inverse de A, c'est-à-dire que $B = (A^T A)^{-1} A^T$.

Le calcul des paramètres i, j, k et t_x , t_y , t_z des matrices R et t est alors effectué de façon simple par la succession d'étapes suivantes :

- calcul des normes $n_i = \|(I_1, I_2, I_3)^T\|$ et $n_j = \|(J_1, J_2, J_3)^T\|$;
- calcul de la norme moyenne $n = (n_i + n_j) / 2$;
- calcul de $i = (I_1, I_2, I_3)^T / n_i$ et de $j = (J_1, J_2, J_3)^T / n_j$;
- calcul de k par le produit vectoriel des vecteurs i et j ;
- calcul de la composante $t_z = 1/n$;
- calcul de $t_x = I_4 t_z$ et de $t_y = J_4 t_z$.

Quand la position des points °P d'estimation de la position des points P a été ainsi obtenue par ces calculs, il convient de la corriger à cause de l'erreur de principe expliquée avec le commentaire de la figure 5. Les points °P sont projetés sur le plan de l'image le long d'une ligne dirigée vers le foyer F. Les coordonnées \hat{u} et \hat{v} du point de projection °Pp sont données par les formules (9) :

$$\frac{i \cdot ({}^\circ x, {}^\circ y, {}^\circ z)^T + t_x}{k \cdot ({}^\circ x, {}^\circ y, {}^\circ z)^T + t_z} = \hat{u} \quad (9)$$

$$\frac{j \cdot ({}^\circ x, {}^\circ y, {}^\circ z)^T + t_y}{k \cdot ({}^\circ x, {}^\circ y, {}^\circ z)^T + t_z} = \hat{v}$$

25

à comparer aux formules précédentes (5) approchées mais plus simples.

L'estimation définitive des paramètres de localisation de la mire 1, c'est-à-dire des valeurs de

coefficients des matrices R et t qui donnent la position et l'orientation du repère de la mire 1, est obtenue en minimisant l'erreur quadratique entre les coordonnées \bar{u} et \bar{v} mesurées sur les points P_p de l'image 10 et les coordonnées \hat{u} et \hat{v} des projections $^{\circ}P_p$, calculées par les formules précédentes (9), des points $^{\circ}P$. On tient compte des incertitudes sur les coordonnées des points P_p estimés par la modélisation de la trace 13 (ces incertitudes sont représentées par une matrice Λ de coefficients qui peuvent être estimés à l'avance). En d'autres termes, on cherche à minimiser la quantité C_{\min} donnée par la formule suivante (10) :

$$C_{\min}(R, t) = \sum_{i=1}^n ((\bar{u}_i, \bar{v}_i) - (\hat{u}_i, \hat{v}_i))^T \Lambda^{-1} ((\bar{u}_i, \bar{v}_i) - (\hat{u}_i, \hat{v}_i)) \quad (10)$$

15

On agit par itérations, en déplaçant à chaque fois les points $^{\circ}P$ en fonction des positions de leurs projections $^{\circ}P_p$ sur l'image 10, jusqu'à ce que ces projections aient suffisamment convergé vers les centres P_p des traces 13. La localisation de la mire 1 étant connue dans un repère fixe, il est alors possible de connaître celle de la vidéo-caméra 4 dans ce même repère en calculant la transformation inverse.

20

Voici maintenant une application concrète de ce procédé de localisation. La caméra 4 de localisation peut être disposée, comme l'illustre la figure 6, sur une plate-forme d'une tourelle 20 juchée sur le toit d'un véhicule 21 destiné à recenser, tout en roulant sur un réseau routier, des panneaux 28 de signalisation routière au service de l'administration compétente ou pour constituer des bases de données utilisables pour des logiciels de navigation routière qui commencent à

25

30

apparaître sur le marché. Une autre caméra de localisation 22, fixe, est montée directement sur le toit du véhicule 21. On demande à la fois une grande précision de localisation des panneaux 28, de l'ordre
5 d'une dizaine de centimètres, et un recensement complet, c'est-à-dire sans omission de panneaux 28 bien qu'ils soient de formes et de dimensions très variables et qu'ils puissent être altérés par des salissures, des inclinaisons, qu'ils puissent être partiellement
10 recouverts par des feuillages ou d'autres obstacles et que leurs positions soient parfois imprévues. Le véhicule 21 est en conséquence équipé de projecteurs 23, ainsi que d'une antenne de localisation 24 situés sur le toit ; il est encore muni, dans l'habitacle,
15 d'une armoire de commande 25 qui contient un ordinateur et des logiciels de calcul et de commande, ainsi qu'une centrale inertielle 26 à gyroscope et au moins un odomètre 27. Ces éléments connus en soi ne sont pas représentés en détail, mais l'odomètre 27 peut
20 comprendre un moyen de mesure de la rotation d'au moins une des roues du véhicule 21. La caméra 22 pour détecter les panneaux réfléchissants, ou la caméra 4 pour détecter les panneaux colorés, l'antenne 24, la centrale inertielle 26 et l'odomètre 27 sont reliés à
25 l'armoire de commande 25.

Expliquons d'abord succinctement comment les panneaux 28 sont détectés. On se sert pour cela de la caméra 22, sensible à l'infrarouge proche, et des projecteurs 23 pour détecter les panneaux
30 réfléchissants, et/ou de la caméra 4 pour détecter les panneaux colorés. Bien que d'autres méthodes soient possibles, on choisit une caméra 4 dont les images sont traitées de deux façons différentes par autant de

chaines de mesure parallèles. Des images de l'environnement prises dans le spectre visible sont tout d'abord décomposées en trois images dont chacune ne comprend qu'une des couleurs essentielles (rouge, vert et bleu) de la scène enregistrée. Les panneaux 28 sont reconnus à leurs formes géométriques particulières puis identifiés grâce à cette forme et à leurs couleurs par des logiciels spécialisés qui ne sont pas l'objet de l'invention, et dont certains lisent aussi les inscriptions qu'ils portent. L'autre voie de mesure permet de prendre simultanément des images de la scène dans l'infrarouge proche : les projecteurs 23 émettent une telle lumière, qui présente l'avantage d'être invisible par les autres usagers, vers l'avant du véhicule 21, et cette lumière est réfléchiée par les panneaux 28 vers la caméra 22. On possède ainsi un moyen supplémentaire de faire un recensement complet. Les images de la caméra 22 en infrarouge proche ont un traitement plus simple car elles sont monochromes.

L'antenne 24 reçoit des informations de localisation d'un réseau de satellites en orbite circulaire qui permettent de localiser de façon connue le véhicule à la précision souhaitée à la fin de périodes brèves et régulières, de quelques secondes. Il est mis en oeuvre un procédé de localisation dit par GPS différentiel pour obtenir la précision souhaitée. Les longueurs des déplacements du véhicule 21 sont mesurées dans l'intervalle par l'odomètre 27, ses virages sont mesurés par la centrale inertielle 26. L'odomètre 27 et la centrale inertielle 26 sont soumis à une dérive relativement importante mais qui n'a pas le temps d'apparaître vraiment entre deux localisations des satellites avec l'antenne 24.

Ils permettent ainsi d'obtenir une grande précision de localisation à court terme et avec une grande vitesse de répétition (50 Hertz), ce qui permet de calculer précisément la position de la caméra lors
5 de chaque prise de vue et de compenser la perte du signal d'un satellite GPS en fonction des obstacles.

Cette technique connue d'hybridation, GPS et inertie, peut être mise en oeuvre postérieurement lors du dépouillement des enregistrements effectués en
10 mission. Elle peut avantageusement être complétée par la technique de mise en correspondance de la trajectoire du véhicule et du fond de carte géographique numérique (map matching).

Les incertitudes inhérentes à ce procédé de
15 localisation de panneaux 28 proviennent donc essentiellement de l'orientation du véhicule 21 sur le sol et de l'orientation des caméras de localisation 4 et 22 sur la tourelle 20 et le véhicule 21. Il est conforme à l'invention d'appliquer le procédé
20 précédemment exposé de localisation de la position d'une caméra par une mire fixe de la façon évoquée à la figure 7 : la mire, ici référencée par 101, peut consister en un groupe de catadioptrés 31 collés aux parois d'un bâtiment 32 devant lequel le véhicule 21
25 doit repasser périodiquement, tel qu'un bâtiment de remise où il revient après ses missions. En repartant pour la mission suivante, il suffit d'arrêter un instant le véhicule 21 devant le bâtiment 32 et d'orienter la caméra de localisation 22 en manoeuvrant
30 le véhicule ou la caméra de localisation 4 en orientant la tourelle 20 vers les catadioptrés 31 pour prendre une image de la mire 101 qui est analysée de la façon qu'on a décrite, pour en déduire les paramètres

extrinsèques de la caméra de localisation 4, exprimés par les grandeurs t et R . La position et l'orientation de la caméra de localisation 4 sont alors déterminées dans un repère fixe et restent ensuite connues à tout instant du trajet, et notamment quand les images des panneaux 28 sont prises, en mesurant les mouvements de rotation de la tourelle 20, les virages du véhicule 21 par la centrale inertielle 26 et ses déplacements par l'odomètre 27 et le système de localisation. On est donc assuré de pouvoir calculer avec la précision souhaitée la position des panneaux 28 à la surface du sol. Si, conformément à une réalisation particulière de l'invention, plusieurs autres caméras de localisation telles que 104 ou 204 sont montées sur la même tourelle 20 ou éventuellement une tourelle voisine et semblable pour prendre elles aussi des images des panneaux 28, ces caméras supplémentaires 104 et 204 sont localisées en même temps par rapport à la mire 101.

L'ensemble des caméras a en effet un champ de vue important et permet de suivre le panneau 28 par des images prises successivement par des caméras différentes, ce qui permet de tourner plus lentement la tourelle 20 sur laquelle toutes les caméras sont montées, ou même de la maintenir immobile. L'invention est d'ailleurs parfaitement applicable à des réalisations sans tourelle 20, où la caméra ou les caméras sont directement montées sur le support mobile tel que le véhicule 21.

La localisation des panneaux 28 peut être faite par plusieurs procédés connus autres que celui de la demande 96 06749 à laquelle on renvoie pour l'exposé de ce procédé particulier de localisation. Certains sont exposés dans "Three dimensional computer vision. A

geometric viewpoint" par Faugeras (The MIT press, 1993), "Photogrammetry Fundamentals and standard process" par Kraus (Bonn, Fred. Dümmler Verlag, 1993, 4^e édition), ou "3D dynamic scene analysis : a stereo
5 based approach", par Zhang et Faugeras (Springer-Verlag, 1992). Si l'objet est porteur de marques de positions relatives connues, sa position pourra même être calculée en lui appliquant le procédé de localisation utilisé avec la mire.

10 Une autre application fondée sur un principe de localisation identique est explicitée à l'aide de la figure 8. Un télémanipulateur 40 est manié par un opérateur 41 se trouvant derrière une paroi de protection épaisse 42 qui l'isole de l'environnement
15 dangereux, radioactif ou autre, d'une chambre close 39. Il ne peut observer qu'un volume réduit à travers la vitre épaisse d'un hublot 43 et a donc des difficultés pour placer une pince 44 d'extrémité du bras du télémanipulateur 40 à la position souhaitée. Si
20 cependant une caméra 4 identique aux précédentes est montée sur le télémanipulateur, près de la pince 44, pour donner l'image tridimensionnelle de l'environnement autour de la pince 44 par des analyses d'images semblables à celles qui étaient faites pour
25 les panneaux 28, elle peut procéder périodiquement à des localisations de la caméra 4 en prenant une image d'une mire 201 qui peut être formée, comme la mire 1 précédemment évoquée, par au moins quatre marques 3 circulaires et peintes sur une paroi sans s'étendre
30 dans un plan commun. L'analyse de l'image par la caméra 4 permet de connaître par la suite la position exacte des éléments de l'environnement, ce qui permet de diriger sans tâtonnement la pince 44 vers les positions

souhaitées en commandant ses déplacements. La pince 44 pourra accomplir un travail de précision, comme saisir un objet, le déposer à côté d'un autre ou tenir et placer une torche de soudage juste au joint de plaquettes juxtaposées à souder, même à des endroits reculés de la chambre 39. Il faut remarquer que les caméras 4 disposées au bout de tels télémanipulateurs 40 doivent être remplacées fréquemment à cause de l'environnement hostile qui les endommage rapidement et qu'elles sont à chaque fois montées à une position différente, ce qui complique l'apprentissage du télémanipulateur 40. Une localisation de la mire 201 est donc faite à chaque changement de caméra 4.

Une autre application du principe de localisation de la position d'une caméra exploite la possibilité d'étalonner la position respective de plusieurs caméras montées sur une tête mobile. Il s'agit de contrôler la géométrie des véhicules (parallélisme des roues) dans un centre de contrôle automobile (cf. Fig.9). le dispositif consiste à équiper les roues 56 du véhicule à contrôler 55 de plaques 54 porteuses de marques rétro-réfléchissantes 57, deux caméras 51 et 52 étant alors placées de part et d'autre et en avant du véhicule. Une technique connue de localisation tridimensionnelle des plaques apparaissant dans le champ de chaque caméra permet de déterminer avec précision la position angulaire de chaque roue 56 par rapport à la caméra 51 ou 52. Il est donc possible de déterminer si les deux roues 56 d'un même côté du véhicule sont parallèles car les plaques de contrôle sont alors dans le champ de la même caméra 51 ou 52 qui fournit le repère.

Afin de contrôler le parallélisme des roues opposées sur un même essieu, il est nécessaire de connaître avec précision la transformation de repère entre les deux caméras. Un premier dispositif
5 consisterait à fixer de manière rigide les deux caméras 51 et 52 à un support transversal et à étalonner la position des caméras 51 et 52 en mettant en oeuvre la technique de ce brevet. Il serait nécessaire de disposer une mire porteuse de marques dans le champ des
10 deux caméras afin de connaître la position de chaque caméra dans le repère de cette mire, et par différence, la transformation de position entre les deux caméras 51 et 52.

Ce dispositif de contrôle de géométrie des
15 véhicules impliquerait une réalisation mécanique rigide et stable, qui sera lourde à installer et encombrante.

On peut avantageusement, selon le dispositif de la figure 9, installer les deux caméras 51 et 52 de part et d'autre du véhicule sur des supports 60 légers et
20 indépendants (trépieds). La caméra 52 est équipée d'une plaque 59 porteuse de marques 58 orientée vers la caméra 51, et une troisième caméra 53 est solidaire du support de la caméra 51 et orientée vers la caméra 52.

La mise en oeuvre de la technique de ce brevet analysant les images de la plaque 59 obtenues par la
25 caméra 3 permet de connaître en permanence (à chaque mesure de parallélisme) la position réelle de la caméra 53 par rapport à la plaque 59. Les deux équipements : caméra 51 associée à la caméra 53 d'une part et caméra
30 52 et sa plaque 59 porteuse de marques 58 d'autre part, sont préalablement étalonnés en usine à l'aide d'un banc de mesure équipé d'une autre caméra et d'une mire

associée pour connaître avec précision leurs paramètres géométriques fixes.

5 Ainsi avec ce dispositif léger, il sera possible de disposer de la transformation de repère entre la caméra 51 et la caméra 52 nécessaire au contrôle de parallélisme des quatre roues du véhicule en temps réel sur le site de contrôle quelle que soit la position approximative avec laquelle l'opérateur aura placé les trépieds 60.

10 L'exploitation des images prises par la caméra d'étalonnage 53 est faite de la même manière que précédemment et permet de déduire la position et l'orientation relatives des caméras 51 et 52.

15 Un tel procédé pourrait être généralisé à tout système comprenant plusieurs caméras d'observation d'un même objet, ou de portions voisines d'un même objet ou d'un même espace, et dont les vues doivent être corrélées entre elles pour les juxtaposer et reconstituer l'objet ou déduire des caractéristiques de
20 l'espace observé.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'étalonnage de la position et de l'orientation d'origine d'une caméra (4, 22) disposée sur un support mobile (21, 40) dans un environnement, caractérisé en ce qu'il consiste à munir l'environnement d'une mire (1, 101, 201) à une position et une orientation connues ; à prendre une image de la mire par la caméra ; et à analyser l'image de la mire par un système de traitement en relevant des positions de traces (P_p) de marques caractéristiques (3) de la mire sur l'image et en déduisant des directions et des éloignements entre les marques caractéristiques et la caméra, puis une position et une orientation de la caméra par rapport à la mire.

2. Procédé d'étalonnage, par rapport à une seconde caméra (52), de la position et de l'orientation d'origine d'une première caméra (51) disposée sur un support mobile (60) dans un environnement, caractérisé en ce qu'il consiste à munir la première caméra d'une caméra d'étalonnage (53) et la seconde caméra d'une mire (58) à une position et une orientation connues ; à prendre une image de la mire par la caméra d'étalonnage ; et à analyser l'image de la mire par un système de traitement en relevant des positions de traces (P_p) de marques caractéristiques (3) de la mire sur l'image et en déduisant des directions et des éloignements entre les marques caractéristiques et la caméra d'étalonnage, puis une position et une orientation de la caméra d'étalonnage (53) par rapport à la mire, puis de la première caméra (51) par rapport à la seconde caméra (52).

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la mire comprend au moins trois marques dans le champ de la caméra à étalonner, et
5 avantageusement plus de trois marques non coplanaires.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la position et l'orientation de la caméra d'étalonnage par rapport
10 à la mire sont déduites sous forme d'une position (t) et d'une orientation (R) de la caméra à étalonner par rapport à un repère lié à la mire.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il consiste à déduire les directions et les éloignements entre les marques caractéristiques et la caméra d'étalonnage (4, 22) en effectuant une rétro-projection des centres des traces des marques caractéristiques (3) de la mire
20 d'abord sur un plan (Π) passant par l'origine du repère de la mire et parallèle au plan de l'image le long de lignes convergeant vers un foyer unique (F), puis dans l'espace, perpendiculairement audit plan parallèle pour obtenir des points de rétro-projection ($^{\circ}P$), et
25 ensuite, de façon itérative, une projection des points de rétro-projection ($^{\circ}P$) sur le plan de l'image (10) le long de lignes convergeant vers le foyer (F) pour obtenir des points de projection ($^{\circ}Pp$), et une correction de position des points de rétro-projection
30 pour minimiser un critère d'estimation d'erreur entre des coordonnées des centres des traces (Pp) des marques caractéristiques (3) et des points de projection ($^{\circ}Pp$).

6. Procédé de mesure de position tridimensionnelle d'objets fixes (28) au moyen d'une caméra (4, 22) montée sur un support mobile (21, 40), caractérisé en ce qu'il consiste, après avoir appliqué le procédé d'étalonnage selon la revendication 1, à faire subir un déplacement au support (21, 40) jusqu'à l'objet (28) tout en mesurant ce déplacement ; à prendre des images de l'objet par la caméra, entre chacune desquelles le support (21, 40) est de nouveau déplacé ; à analyser les images de l'objet par le système de traitement pour en déduire une direction et un éloignement entre l'objet (28) et la caméra (4) ; à enfin calculer la position de l'objet en utilisant ladite direction et ledit éloignement entre l'objet et la caméra et les déplacements du support.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité de caméras (4, 104, 204) disposées sur le support dans des directions de visée différentes, chacune des caméras prenant une image de la mire, et en ce qu'il consiste à déduire des positions et des orientations relatives entre chacune des caméras, à prendre une pluralité d'images de l'objet par ces caméras respectives, à analyser les images de l'objet et à se servir des positions et des orientations relatives pour déduire les directions et les éloignements entre l'objet et les caméras et calculer la position de l'objet.

8. Application du procédé conforme à l'une quelconque des revendications 6 ou 7 au recensement de panneaux de signalisation routière (28) dont chacun constitue un objet par un véhicule (21) constituant le

support mobile sur un réseau routier constituant l'environnement, le véhicule étant muni d'un système de localisation par satellites (24, 25) et d'un système d'orientation à inertie (26).

5

9. Application du procédé conforme à l'une quelconque des revendications 6 ou 7 à la télémanipulation, un bras télémanipulé constituant le support de la caméra (4).

10

10. Application du procédé conforme à la revendication 2 à l'observation du contenu d'un même espace à partir des vues partielles fournies par plusieurs caméras situées dans ce même espace.

15

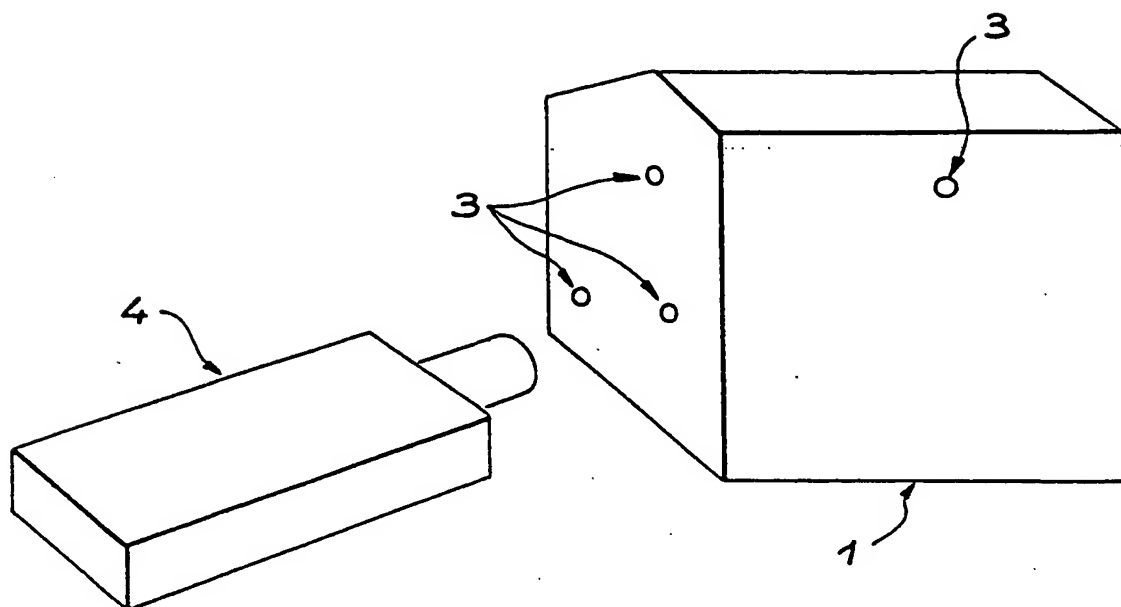


FIG. 1

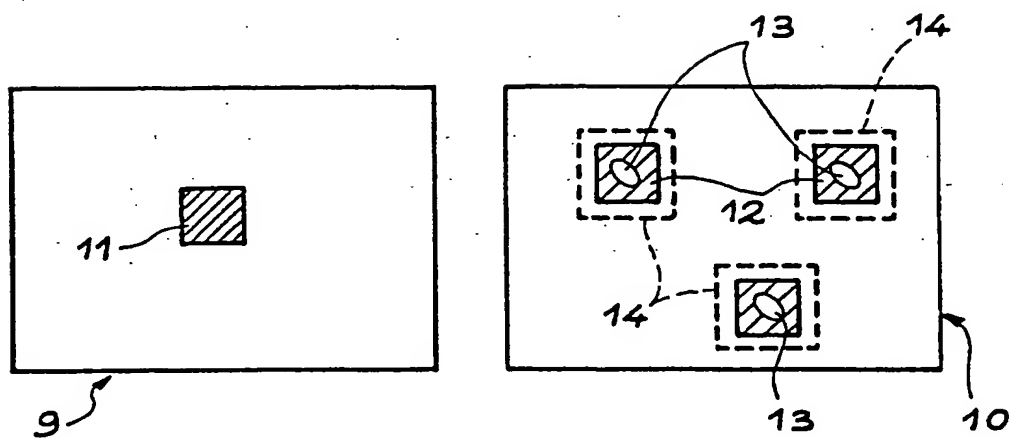


FIG. 2

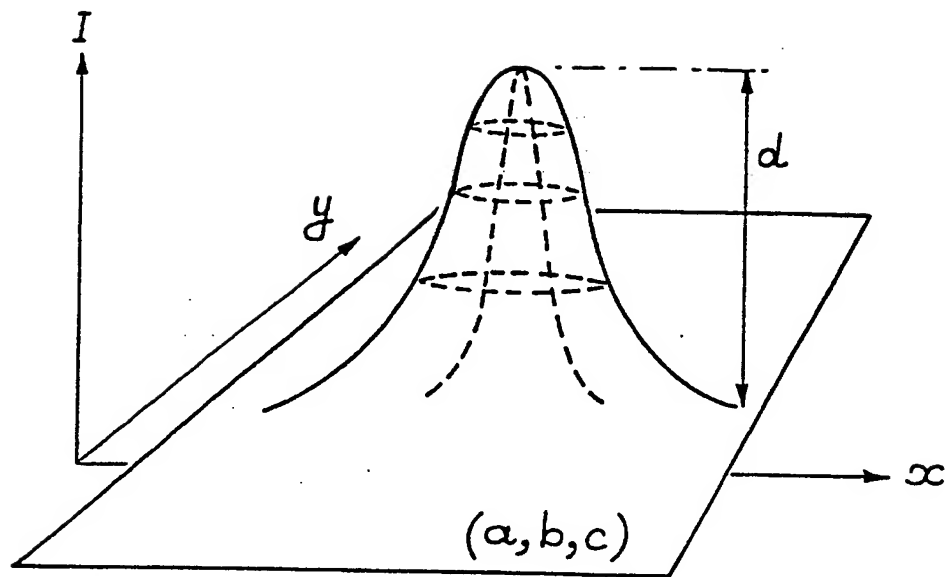


FIG. 3

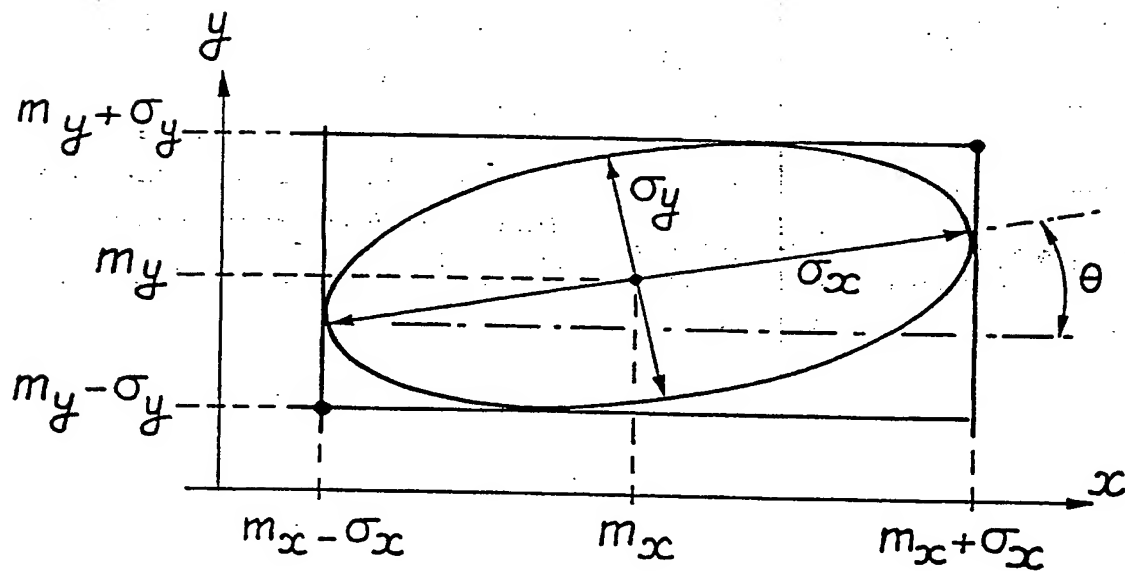


FIG. 4

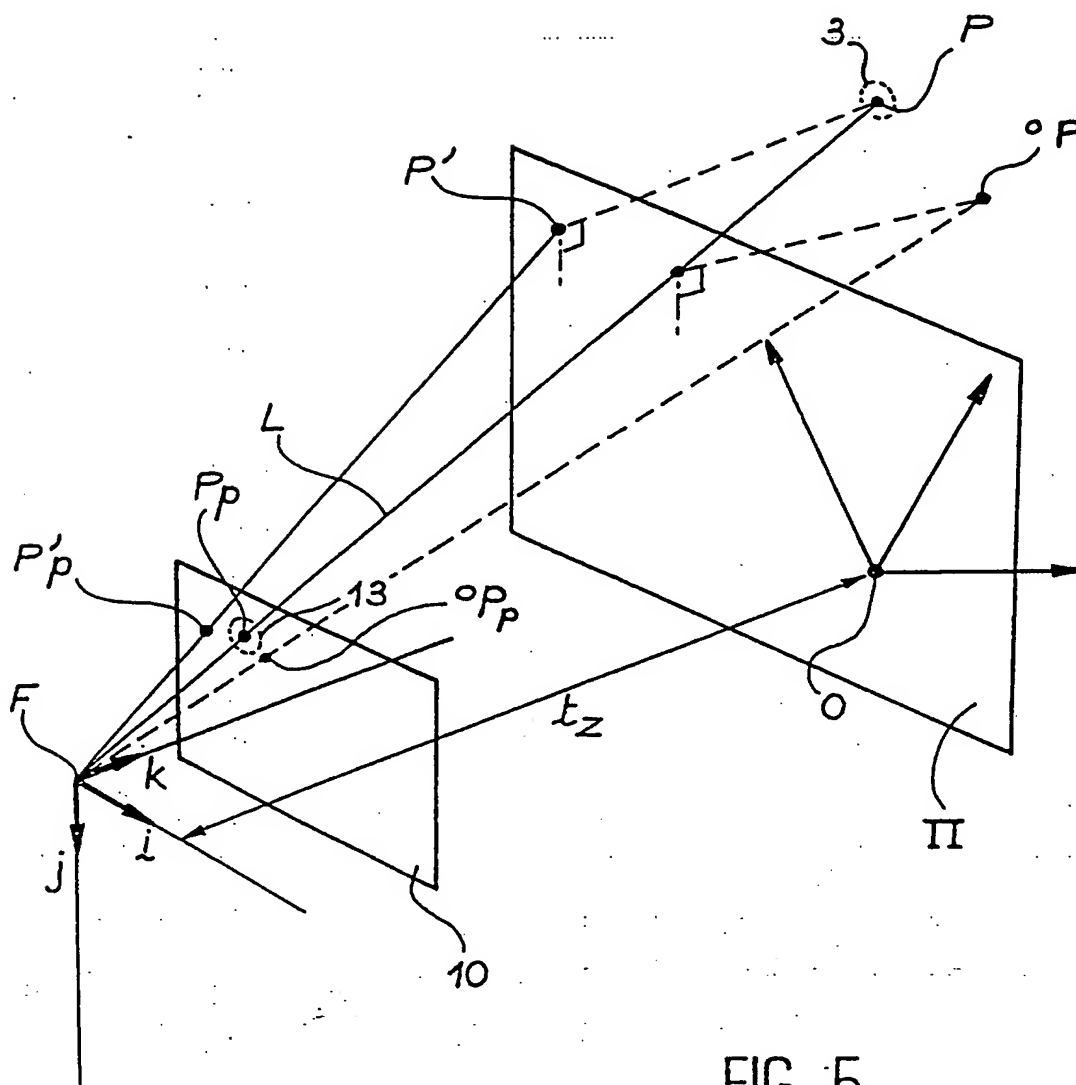


FIG. 5

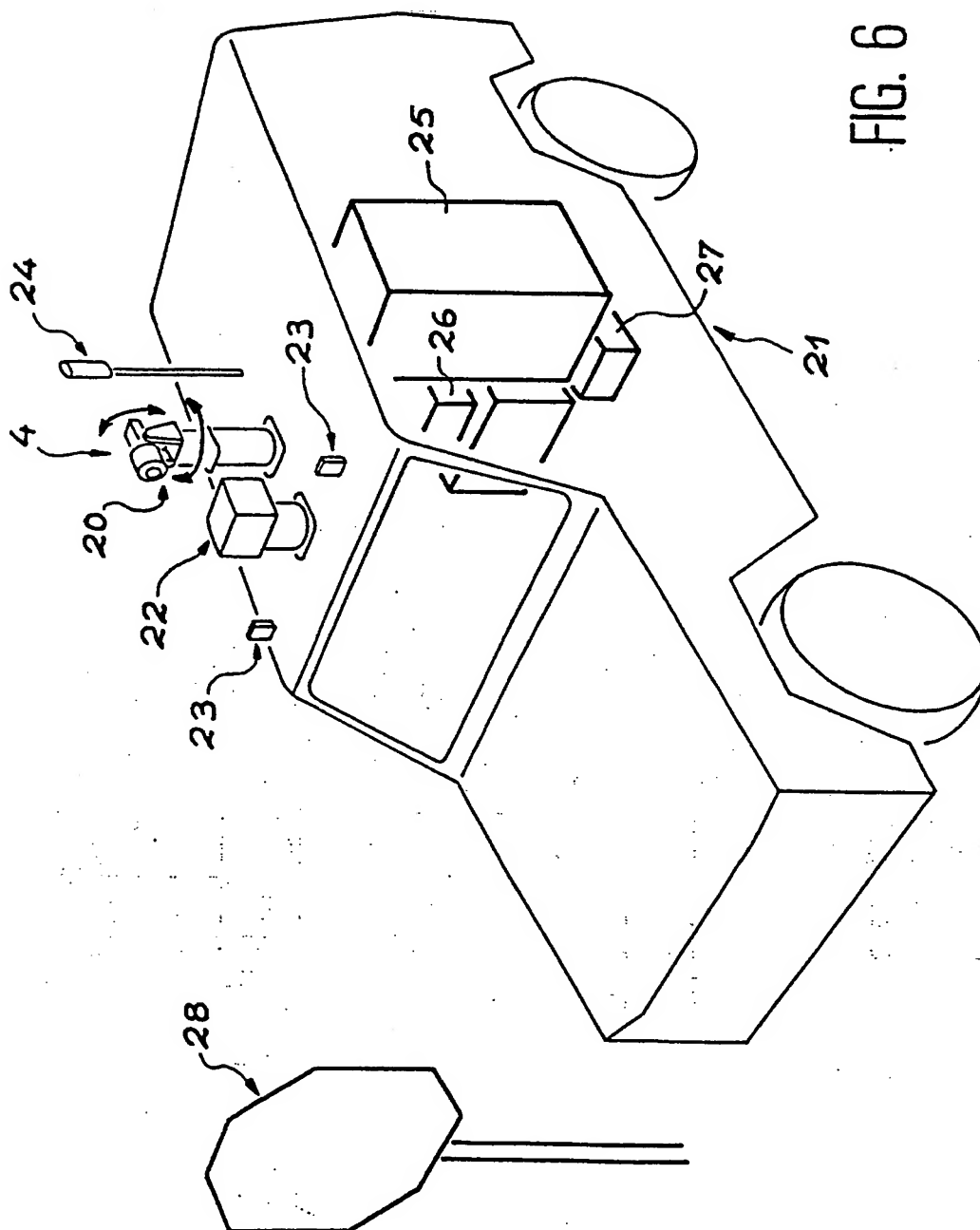


FIG. 6

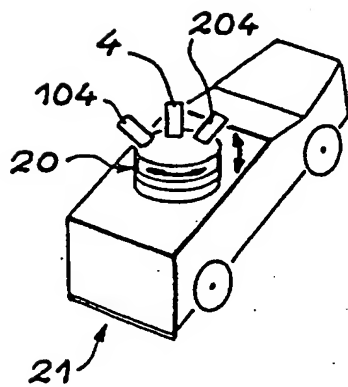
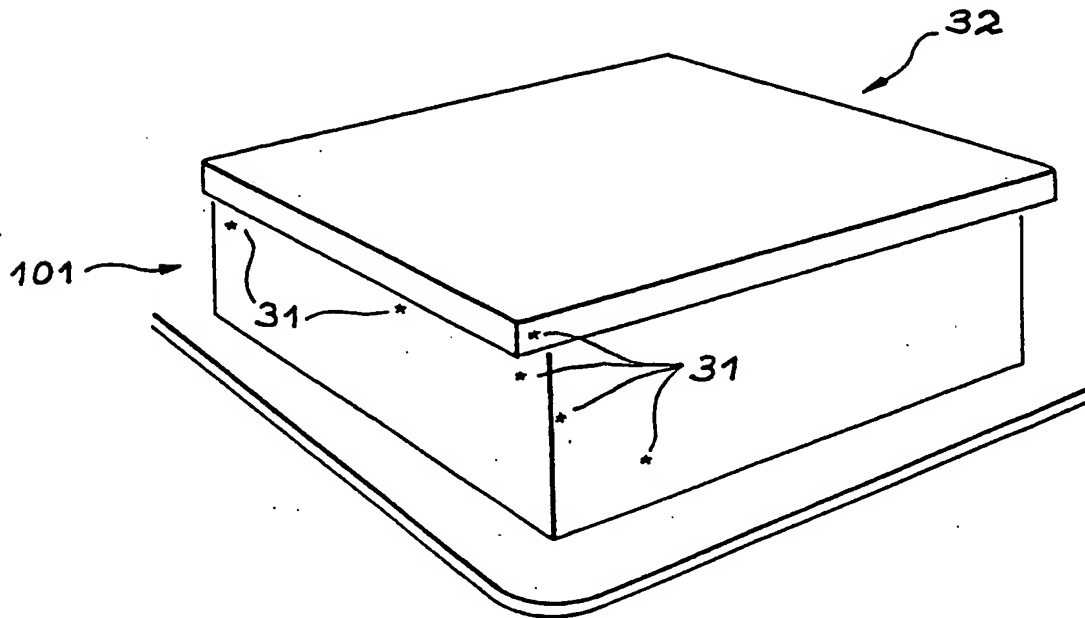


FIG. 7

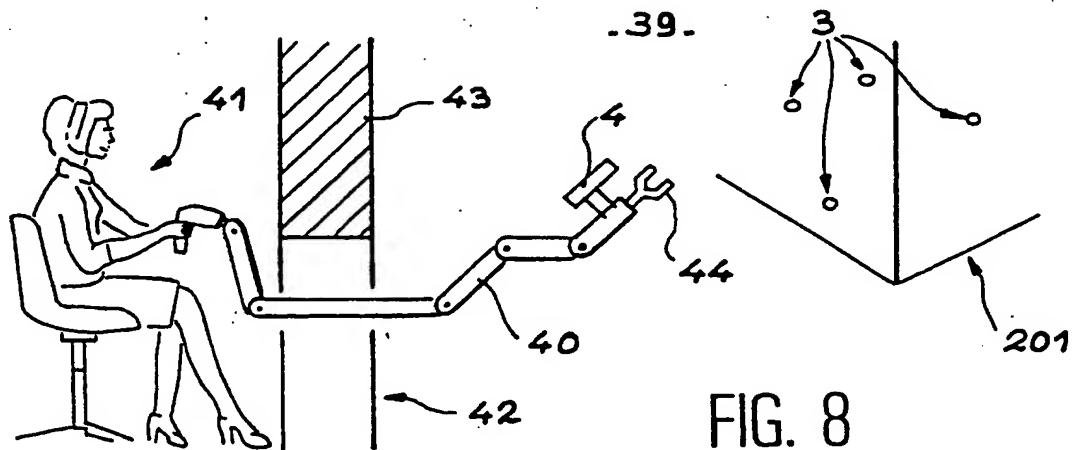


FIG. 8

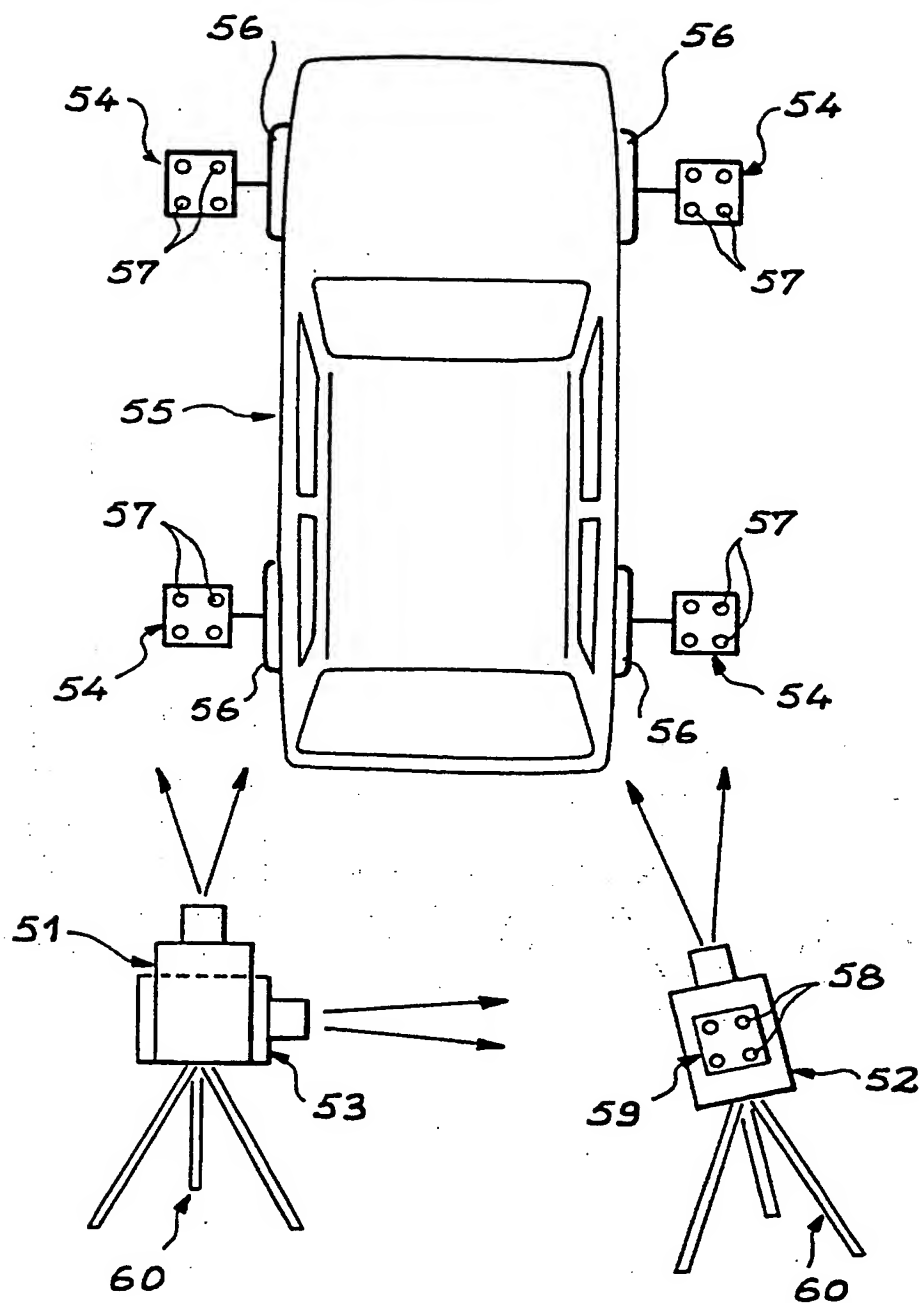


FIG. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In [REDACTED] Application No
PCT/ [REDACTED] 98/02270

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G05D1/03

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	FR 2 749 419 A (SAGEM) 5 December 1997 cited in the application see abstract; figure 2 ---	1
A	WO 94 29774 A (BERTIN & CIE ;LORRAINE LAMINAGE (FR); ABITBOL MARC (FR); MAILLART) 22 December 1994 see page 3, line 36 - page 6, line 14 see page 8, line 35 - page 9, line 9; figure 1 ---	1
A	US 5 285 397 A (HEIER HELMUT ET AL) 8 February 1994 see column 3, line 57 - column 6, line 27; figures 1,6 --- -/--	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 February 1999

Date of mailing of the international search report

19/02/1999

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Anderson, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No

PCT/98/02270

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A,P	FR 2 760 277 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 4 September 1998 cited in the application -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. Application No

PCT/FR 98/02270

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
FR 2749419	A	05-12-1997	EP	0810496 A	03-12-1997
WO 9429774	A	22-12-1994	FR	2706345 A	23-12-1994
			EP	0655148 A	31-05-1995
			JP	8500460 T	16-01-1996
			US	5784282 A	21-07-1998
US 5285397	A	08-02-1994	DE	3941144 A	20-06-1991
			CH	681656 A	30-04-1993
FR 2760277	A	04-09-1998	EP	0863413 A	09-09-1998
			JP	10253322 A	25-09-1998

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De l'Office International No

PCT 98/02270

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 6 G05D1/03

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 G05D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X,P	FR 2 749 419 A (SAGEM) 5 décembre 1997 cité dans la demande voir abrégé; figure 2 ---	1
A	WO 94 29774 A (BERTIN & CIE ; LORRAINE LAMINAGE (FR); ABITBOL MARC (FR); MAILLART) 22 décembre 1994 voir page 3, ligne 36 - page 6, ligne 14 voir page 8, ligne 35 - page 9, ligne 9; figure 1 ---	1
A	US 5 285 397 A (HEIER HELMUT ET AL) 8 février 1994 voir colonne 3, ligne 57 - colonne 6, ligne 27; figures 1,6 ---	1
	-/--	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

15 février 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

19/02/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Anderson, A

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De  internationale No
PCT/FR 98/02270

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A,P	FR 2 760 277 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 4 septembre 1998 cité dans la demande -----	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

De l'Union internationale No

PCT 98/02270

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2749419 A	05-12-1997	EP 0810496 A	03-12-1997
WO 9429774 A	22-12-1994	FR 2706345 A	23-12-1994
		EP 0655148 A	31-05-1995
		JP 8500460 T	16-01-1996
		US 5784282 A	21-07-1998
US 5285397 A	08-02-1994	DE 3941144 A	20-06-1991
		CH 681656 A	30-04-1993
FR 2760277 A	04-09-1998	EP 0863413 A	09-09-1998
		JP 10253322 A	25-09-1998